
**ENTWICKLUNG UND VALIDIERUNG EINES NEUEN
BIOMECHANISCHEN FRAKTURMODELLS DER
EXTRAATRIKULÄREN DISTALEN RADIUSFRAKTUR LOCO
TYPICO (AO 23-A3)**

Sebastian Felix Baumbach



München 2014

Aus der Klinik für Allgemeine, Unfall-, Hand- und Plastische Chirurgie

der Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. W. Mutschler

**ENTWICKLUNG UND VALIDIERUNG EINES NEUEN
BIOMECHANISCHEN FRAKTURMODELLS DER
EXTRAATRIKULÄREN DISTALEN RADIUSFRAKTUR LOCO
TYPICO (AO 23-A3)**

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin

an der Medizinischen Fakultät der

Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Dr. med. univ. Sebastian F. Baumbach

aus

Düsseldorf

2014

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Matthias Schieker

Mitberichterstatter: Priv. Doz. Dr. Andreas Fottner
Prof. Dr. Sigurd Kessler

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h.c. M. Reiser, FACR, FRCR

Tag der mündlichen Prüfung: 06.02.2014

MEINER FAMILIE

Julia, Koko & Paulini

INHALTSVERZEICHNIS

EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG	1
DANKSAGUNG	2
PUBLIKATIONEN	3
ORIGINALARBEITEN	3
KONGRESSBEITRÄGE	3
FÖRDERMITTEL	4
STIPENDIUM	4
DRITTMITTEL	4
EINLEITUNG	5
DISTALE RADIUSFRAKTUREN	5
FRAKTURLOKALISATION	7
BIOMECHANISCHE FRAKTURMODELLE	8
VORARBEIT	9
ZIEL	11
FRAKTURLOKALISATION	12
MATERIAL UND METHODEN	12
ERGEBNISSE	14
DISKUSSION & SCHLUSSFOLGERUNG	14
BIOMECHANISCHES FRAKTURMODELL	16
ENTWICKLUNG DES FRAKTURMODELL	17
VORARBEIT	17
MATERIAL UND METHODEN	18
BIOMECHANISCHE TESTUNG UND STATISTIK	19
ERGEBNISSE	20
DISKUSSION & SCHLUSSFOLGERUNG	22
REFERENZEN	23
EIGENANTEIL AN DEN VORGELEGTE ARBEITEN	33
FRAKTURLOKALISATION	33
BIOMECHANISCHES FRAKTURMODELL	33

ANHANG	34
STIPENDIUM MEDIZINISCHE UNIVERSITÄT WIEN [FRACT. LOC.]	34
VOTUM ETHIKKOMMISSION WIEN [FRACT. LOC.]	35
VOTUM IBRA SMALL GRAND APPLIKATION [BIOMEC. FRACT. MOD.]	37
VOTUM ETHIKKOMMISSION WIEN [BIOMEC. FRACT. MOD.]	39
VOTUM ETHIKKOMMISSION MÜNCHEN [BIOMEC. FRACT. MOD.]	40

EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG

Eidesstattliche Versicherung

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt,
dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Ort, Datum

Unterschrift Doktorandin/Doktorand

DANKSAGUNG

Die hier präsentierte Arbeit hat mich von dem Ende meines Studiums bis in mein drittes Assistenzarztjahr begleitet, eine Zeit in der sich sowohl persönlich als auch beruflich viel verändert hat. Neben der bedingungslosen Unterstützung meiner Eltern, hätte ich diese Arbeit ohne der Hilfe, dem Vertrauen, der Kraft und der Stärke meiner Freundin nicht fertig stellen können. Dafür möchte ich euch danken!

Herrn Prof. Schieker möchte ich für die spannende wissenschaftliche Zusammenarbeit, den erteilten Rat sowie der Möglichkeit zur Promotion danken.

Bei Herrn Prof. P.K. Zysset möchte ich mich für die Heranführung an das wissenschaftliche Arbeiten und die Biomechanik bedanken. Seine Expertise und Begeisterung für die Wissenschaft haben auch mein wissenschaftliches Interesse geweckt.

Herrn Peter Varga, PhD und Enrico Dall'Ara, PhD waren an der Technischen Universität meine direkten Ansprechpartner. Neben dem fachlichen Austausch war die Zusammenarbeit stets freundlich und kollegial. Peter und Enrico haben mir einen spannenden Einblick in die Biomechanik gegeben.

Auch wenn Herr Prof. Stephen Belkoff, PhD nicht direkt an dieser Arbeit beteiligt war, möchte ich ihm auf diese Weise für sein Vertrauen und seine Unterstützung danken.

Herrn Prof. V. Vécsei und Herrn Prof. T. Heinz bin ich für die Ermöglichung der ersten Studie sowie die Einführung in die Unfallchirurgie dankbar.

Ohne die finanzielle Unterstützung durch ein Jungforscherstipendium der Medizinischen Universität Wien sowie einem „small research grant“ der International Bone Research Association wären diese Studien nicht durchführbar gewesen. Darüber hinaus schulde ich Medartis Inc. Dank für die Bereitstellung der Kunstknochen sowie des Osteosynthesematerials. In besonderer Weise möchte ich Herrn A. Spiegel, PhD danken. Nicht nur für die gute Kooperation mit Medartis, sondern im Besonderen für seine Unterstützung und Expertise.

PUBLIKATIONEN

Originalarbeiten

Baumbach SF, Schmidt R, Varga P, Heinz T, Vécsei V, Zysset PK. *Where is the distal fracture line location of dorsally displaced distal radius fractures?* J Orthop Res (2011) vol. 29 (4) pp. 489-94

Baumbach SF, Dall'Ara E, Weninger P, Antoni A, Traxler H, Zysset PK. *Assessment of a Novel Biomechanical Fracture Model for Distal Radius Fractures*. BMC Musculoskeletal Disorders (2012) vol. 13 (1) pp. 252

Kongressbeiträge

Vortrag

Baumbach SF, Dall'Ara E, Weninger P, Antoni A, Traxler H, Zysset PK. *Assessment of a Novel Biomechanical Fracture Model for Distal Radius Fractures*. 13th Congress of Trauma & Emergency Surgery 2012.

Poster Präsentationen

Baumbach SF, Schmidt R, Zysset PK. *Loco Typico of Dorsally Displaced Distal Radius Fractures. A Radiographic Measurement Study*. 17th Congress of the European Society of Biomechanics 2010.

Schmidt R, Baumbach SF, Vecsei V. *Gibt es eine „typische Stelle“ bei distalen Radiusfrakturen? Eine radiologische Vermessungsstudie an 157 Colles-Frakturen*. 46. Jahrestagung der Oesterreichischen Gesellschaft für Unfallchirurgie 2010.

FÖRDERMITTEL

Stipendium

Jungforschungsstipendium der Medizinischen Universität Wien, Wien, AT

Titel: Detailed analysis of distal radius fractures. A radiographic measurement study

Zeitraumen: Sep. 2009 - Jan. 2010

Volumen: 2000€

Drittmittel

Small Research Grand der International Bone Research Association

Titel: A novel biomechanical fracture model for dorsally displaced, unstable, distal radius fractures

Datum: 1.11.201

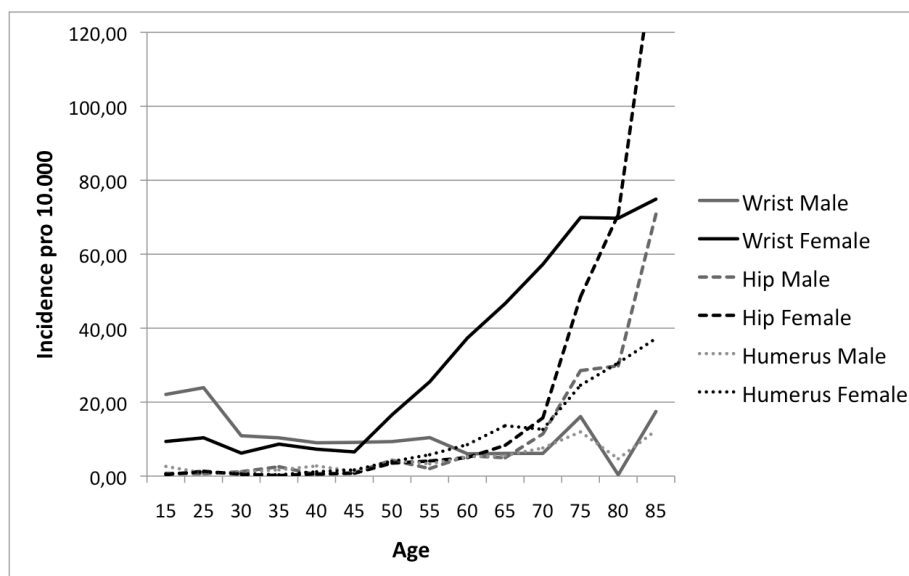
Volumen: 4550€

Medartis Inc., Basel, Schweiz, stellten sowohl die Kunstknochen als auch das Osteosynthesematerial kostenfrei zur Verfügung.

EINLEITUNG

In der industrialisierten Welt ist Osteoporose die häufigste Knochenerkrankung postmenopausaler Frauen ^[1]. Im Rahmen der Osteoporose kommt es zu einem Ungleichgewicht zwischen Knochenauf- und abbau mit Verlust der Knochenmasse und damit zu einem erhöhten Frakturrisiko. Distale Radiusfrakturen (DRF), proximale Femurfrakturen, Wirbelkörperfrakturen und proximale Humerusfrakturen sind die häufigsten osteoporoseassoziierten Frakturen ^[2]. Große epidemiologische Studien konnten zeigen, dass distale Radiusfrakturen den frühesten altersabhängigen Inzidenzanstieg aller osteoporoseassoziierten Frakturen haben (Abb. 1) ^[3,4]

Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Alter und Inzidenz metaphysärer Frakturen



Reproduziert mit Erlaubnis der © British Editorial Society of Bone and Joint Surgery^[4].

Distale Radiusfrakturen

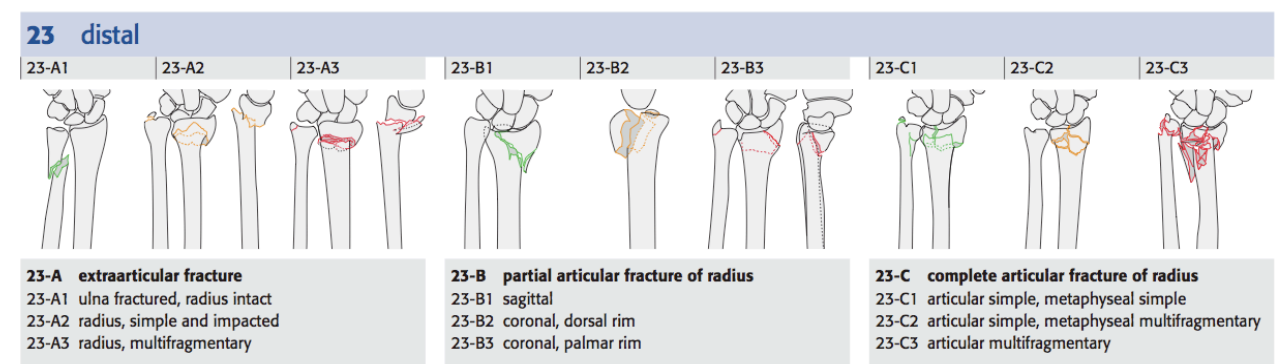
DRF wurden bis ins späte Mittelalter als Sub- / Luxationen des Radiocarpalgelenks fehlgedeutet. Eine erste Erwähnung finden Fallberichte in altägyptischen Schriften im Edwin Smith Papyrus ^[5]. Dort wird die Reposition der Verletzung sowie Schienung mittels Holzstöcken und

Stoffrollen beschrieben. Erst im frühen 17ten Jahrhundert erkannten Petit (1723) ^[6] und Pouteau (1783) ^[7], dass einige dieser Verletzungen Frakturen sind. Bekannt wurde die nach dorsal verkippte DRF durch die Arbeit von Abraham Colles „*On the Fracture of the Carpal Extremity of the Radius*“ im Edinburgh Medical and Surgical Journal von 1814 ^[8]. In dieser Arbeit schreibt Colles, dass die Fraktur „*takes place at about an inch and a half [ca. 3,8cm] above the carpal extremity of the radius [...]. Indeed, the carpus and base of metacarpus appear to be thrown backward [...]*“. Seitdem wird Colles' Fraktur synonym für nach dorsal verkippte DRF verwendet.

Seit den Zeiten von Prof. Colles haben sich die Epidemiologie, Diagnostik, Klassifikationen und Behandlungen der distalen Radiusfraktur dramatisch geändert. Heutzutage machen DRF bis zu 25% aller knöchernen Verletzungen aus ^[3,9,10] und resultieren zu fast 90% aus einem Sturz aus stehender Höhe oder weniger ^[11,12]. Sie treten zu 70% bei Frauen auf ^[4,13], wobei das Lebenszeitrisko einer 65 jährigen Frau eine DRF zu erleiden ca. 10% beträgt ^[14].

In der Literatur finden sich mehr als 20 verschiedene Klassifikationssysteme, wobei die AO Klassifikation ^[15] das weltweit am weitesten verbreitete Klassifikationssystem ^[16,17] ist. Die AO-Klassifikation für die distale Radiusfraktur ist in Abbildung 2 dargestellt. Dabei werden DRF prinzipiell in drei Typen unterteilt: Typ A: extraartikuläre Frakturen, Typ B: partiell intraartikuläre Frakturen und Typ C: intraartikuläre Frakturen. Jeder Frakturtyp wird entsprechend dessen Komplexität wiederum in drei Subgruppen untergliedert (A1-3, B1-3, C1-3). Ein Zusammenhang zwischen der Knochendichte und dem Frakturmuster konnte bis jetzt noch nicht gezeigt werden ^[18-20]

Abbildung 2: AO-Klassifikation der distalen Radiusfrakturen



Übernommen mit Genehmigung von der „Müller AO Classification of Fractures - Long Bones“; © by AO Foundation, Schweiz

Das Ziel einer jeden Frakturbehandlung ist die Knochenbruchheilung sowie die Wiederherstellung der Gelenkfläche in allen drei Ebenen. Prinzipiell lässt sich die Therapie der DRF in drei Gruppen unterteilen: (1) Geschlossene Reposition und Retention im Unterarmgips, (2) geschlossene Reposition und Retention mittels K-Draht Osteosynthese / Fixateur externe und (3) offene Reposition und Retention mittels verschiedener Osteosyntheseverfahren. Trotz ihrer hohen Inzidenz, wird das optimale Behandlungsregime der DRF ^[21-24] sowie der Einfluss von Osteoporose auf die Frakturklassifikation und -behandlung ^[25], in der Literatur kontrovers diskutiert. Ein Cochrane Review von 2006 ^[26] konnte aufgrund der Heterogenität der vorhanden Literatur keine Empfehlung für die Behandlung festlegen.

Traditionell wurden v.a. die DRF bei älteren Patienten konservativ mittels geschlossener Reposition und Gipsimmobilisation behandelt ^[27,28]. Obwohl Studien zeigen konnten, dass es in mehr als 50% der Fälle zu einem sekundären Repositionsverlust kommt ^[29,30], ist das funktionelle Ergebnis häufig gut und die subjektive Lebensqualität der älteren Patientinnen meist nicht eingeschränkt ^[29-34].

Heute ist die offene Reposition und Retention mittels volarer Plattenosteosynthese und frühfunktioneller Nachbehandlung bei instabilen oder intraartikulären DRF der Gold-Standard ^[35-37]. Mit Hilfe winkelstabiler volarer Plattensysteme kann eine gute Frakturretention bei frühfunktioneller Nachbehandlung auch im osteoporotischen Knochen erzielt werden ^[38]. Instabilitätskriterien nach Lafontaine et al. ^[39] sind: Alter über 60 Jahre, Verkipfung der Gelenkfläche um mehr als 20° nach dorsal, Ulna-Varianz von mehr als 5mm, ausgeprägte dorsale Trümmerzone, dislozierte intraartikuläre Frakturen sowie Frakturen der Ulna.

Frakturlokalisierung

Die Begriffe Colles' Fraktur und DRF loco typico werden heutzutage synonym verwendet und beschreiben die nach dorsal verkippte DRF, die innerhalb der distalen 12% des Radius stattfindet ^[40]. Entsprechend der AO-Klassifikation ^[15] umfassen diese die folgenden Frakturtypen: 23-A2, A3 sowie 23-C. Die Literaturrecherche ergab insgesamt sieben Publikationen, in welche die Frakturlokalisierung der DRF näher spezifiziert wurde ^[41-47]. Diese werden in Tabelle 1 zusammengefasst. In diesen Studien wurde die Frakturlokalisierung dennoch weder systematisch erhoben noch umfassten die Arbeiten eine ausreichende Stichprobengröße.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Studien, welche die Frakturlokalisierung der Colles' Fraktur beschreiben.

Design	Autoren	Ref	n	Frakturlokalisierung
BM	Augat et al. (1996)	[43]	19	innerhalb der distalen 10%
	Augat et al. (1998)	[42]	17	innerhalb der distalen 10%
BM RX	Spadaro et al. (1994)	[41]	12	13 – 24 mm prox. des PSR
RX	Bengnér and Johnell (1985)	[47]	1914	innerhalb der prox. 30 mm des RCG
	Eastell et al. (1989)	[45]	20	22 ± 4 mm prox. des PSR
	Xie et al. (2001)	[44]	63	11 ± 3 mm prox. des RCG
	Koh et al. (2006)	[46]	29	28 ± 6 mm prox. des PSR

BM = Biomechanische Studie, RX = Radiologische Studie

prox. = proximal, PSR = Processus styloideus radii, RCG = Radiokarpalgelenk

Die genau Frakturlokalisierung der DRF, auch in Abhängigkeit von Patientenalter, Unfallmechanismus und Frakturkomplexität ist von großem Interesse. Zum einen können auf Basis dieser Daten neue Diagnoseverfahren zur Bestimmung der Knochenfestigkeit entwickelt werden und zum anderen verbesserte biomechanische Frakturmodelle entwickelt werden, welche wiederum eine essentielle Rolle in der Entwicklung und Testung neuer Osteosyntheseverfahren spielen.

Biomechanische Frakturmodelle

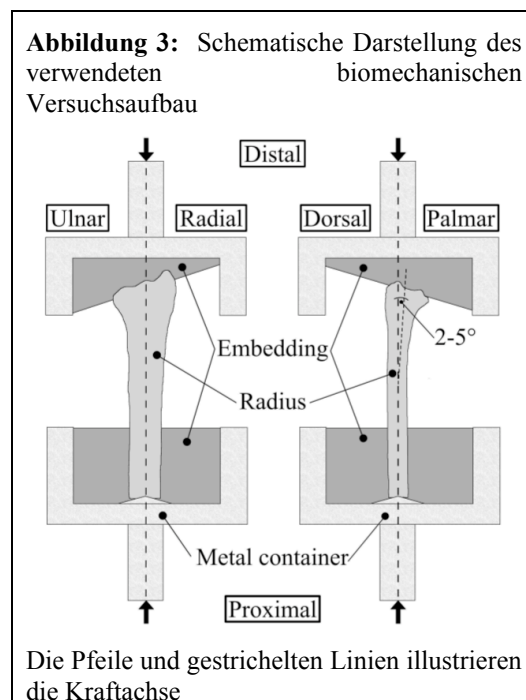
Bei der Entwicklung neuer sowie dem Vergleich existierender Osteosyntheseverfahren spielt die biomechanische Testung eine entscheidende Rolle. Der derzeitige Goldstandard für biomechanische Frakturmodelle einer instabilen, dorsal verkippten DRF (23-A.3) wird in Abbildung 8.1 gezeigt, wobei eine 10mm große dorsal Keilosteotomie 20mm proximal der Gelenkfläche gesetzt wird [48-54]. Jedoch wurde in anderen Studien die Osteotomie zwischen 10 und 25mm proximal der Gelenkfläche [55-61], proximal der Incisura radialis ulnae [62], oder 3 mm proximal des distalen Radioulnargelenks [63] gesetzt.

Keine der Studien rechtfertigt oder verifiziert die verwendete Osteotomielokalisation. Daraus ergeben sich vorrangig zwei Probleme: Zum einen resultiert die Heterogenität der beschriebenen Frakturmodellen in einer fehlenden Vergleichbarkeit der Studien, zum anderen ist fraglich, inwieweit die bis dato verwendeten Frakturmodelle die *in vivo* Situationen widerspiegeln, da es keine systematische Untersuchung der eigentlichen Frakturlokalisierung gibt.

Vorarbeit

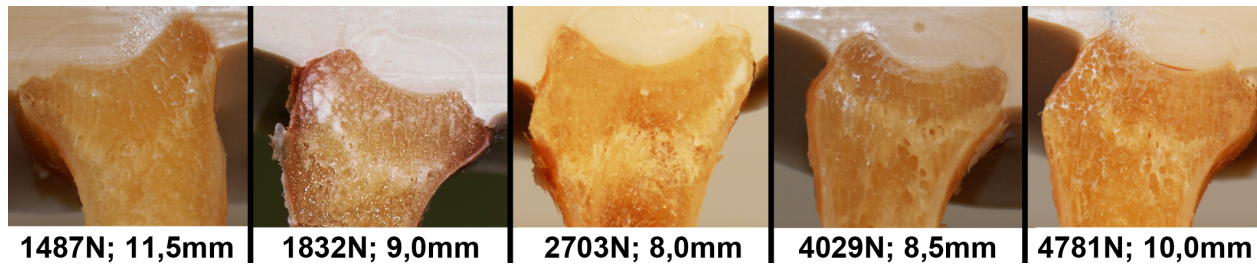
In einer Vorstudie ^[64,65], wurde, basierend auf einer umfangreichen Literaturrecherche und Vortests, ein biomechanisches Modell mit streng definierten Randbedingungen zur Erzeugung einer DRF (AO-23-A) entwickelt. Das Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung und Anwendung einer Finite-Elemente-Modell kompatiblen biomechanischen Prüfungsanordnung für DRF.

Insgesamt konnten 23 biomechanische Studien identifiziert werden, welche ein entsprechendes Modell postulierten ^[41-43,66-85]. 16 dieser Arbeiten ^[42,43,66-70,72,73,75,77-80,83,84] wählten eine um 10° - 20° nach dorsal versetzte Krafteinleitung auf den distalen Radius, wie sie von Frykman et al. ^[71] vorgeschlagen wurde. Von diesen Studien verwendeten wiederum nur drei Arbeiten isolierte Radii ^[43,83,84]. Diese drei Arbeiten bildeten die Grundlage für das in dieser Arbeit verwendete Frakturmodell, welches in Abbildung 3 schematisch dargestellt ist.



In der Vorstudie wurden 21 formalin-fixierte humane Radii mittels HR-pQCT gescannt und entsprechend der in Abbildung 3 dargestellten Prüfungsanordnung in einer Materialprüfmaschine (MTS 858 MiniBionix II, MTS Systems Corp. USA) bis zum Versagen getestet. Unter anderem wurde auch die so produzierte Frakturlinie analysiert. Beispiele für die hier erzeugten DRF sind in Abbildung 4 zu sehen. Dabei zeigte sich eine mittlere maximale proximale Ausdehnung der Frakturlinie von $11,0 \text{ mm} \pm 3,6 \text{ mm}$ (5,5 mm bis 17,0 mm). Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit der Arbeit von Xie et al. ^[44]. Dort berichten die Autoren in nur einem Satz des Material- und Methodenteils ihrer Arbeit, dass 63 Röntgenbilder mit einer nur minimal dislozierten DRF vermessen worden sind und die Frakturlinien $11 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ proximal der radiocarpalen Gelenklinie lokalisiert waren ^[44]. An welchen Aufnahmen, mit welchem Verfahren und mittels welcher Kriterien die Messungen vorgenommen worden sind, wird nicht berichtet.

Abbildung 4: Exemplarische Darstellung der erzeugten DRF im Rahmen der Vorstudie



N: Newton, Versagenslast; mm: Millimeter, maximale proximale Ausdehnung der Frakturlinie

ZIEL

Das Ziel dieser Dissertation ist die Entwicklung und Validierung eines neuen biomechanischen Frakturmodells der extraartikulären distalen Radiusfraktur loco typico (AO 23-A3). Dabei wurde in einer ersten Arbeit die exakte Frakturlokalisierung der DRF erhoben [FRAC. LOC.]. Darauf basierend wurde in einer zweiten Arbeit ein entsprechendes biomechanisches Frakturmodell entwickelt und gegen den derzeitigen Goldstandard getestet [BIOMEC. FRACT. MOD.].

FRAKTURLOKALISATION

[Fract. Loc.]

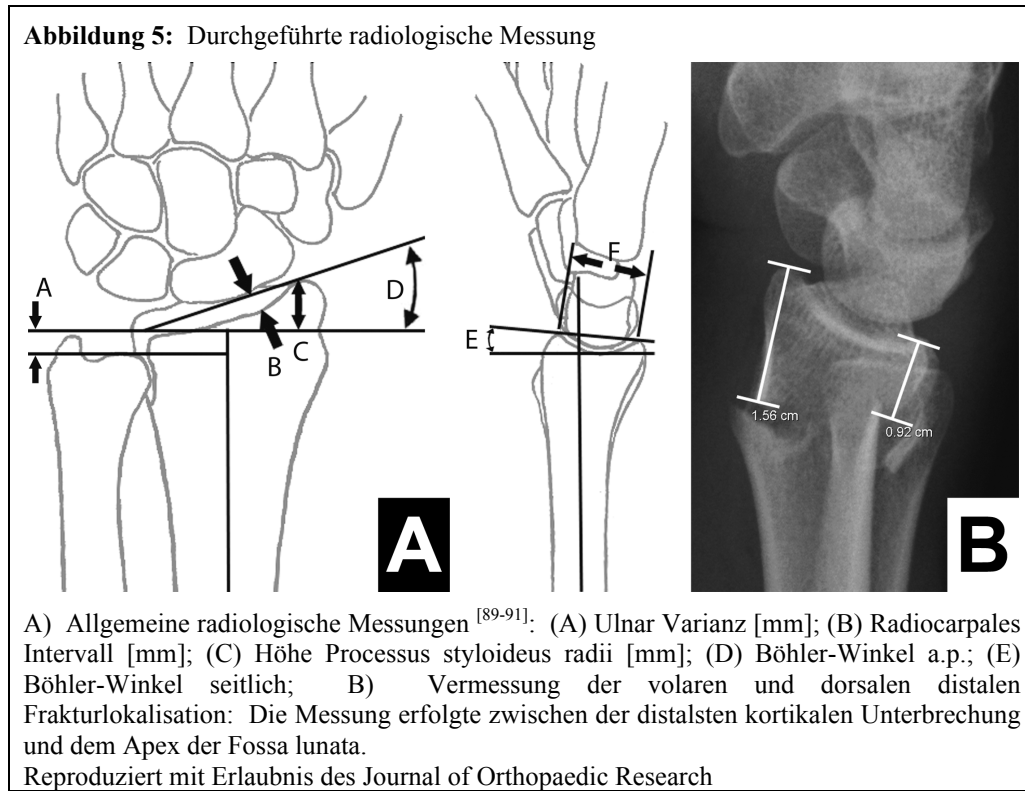
Wie Eingangs beschrieben, existieren derzeit keine Studien zur systematischen Untersuchung der Frakturlokalisierung der DRF. Die exakte Lokalisation kann helfen, neue biomechanische Frakturmodelle der Colles' Fraktur zu entwickeln und Osteoporosediagnostics (z.B. HRpQCT) zu verbessern. Das Ziel dieser Studie war die systematische Erhebung der distalen Frakturlinie (DFL) in Colles' Frakturen sowie die Untersuchung verschiedener Einflussfaktoren auf diese DFL.

Die Durchführung der Studie wurde durch die Ethikkommissionen der Medizinischen Universität Wien genehmigt (MUW 819/2009).

Material und Methoden

Die Patientendatenbank der Abteilung für Unfallchirurgie des Allgemeinen Krankenhaus Wien (AKH), Wien, Österreich wurde mittels der lokal verwendeten Diagnoseschlüssel „*Distale Radiusfraktur*“ und „*Distale Radiusfraktur Loco Typico*“ nach allen DRF für den Zeitraum 01.01.2008 bis 31.01.2008 durchsucht und ergab 662 Treffer. Die weiteren spezifischen Einschlusskriterien waren: (1) Colles' Fraktur, (2) Probandenalter 40 bis 74 Jahre, (3) orthograden Röntgenbilder in zwei Ebenen (4) ohne Hinweis auf eine Knochenerkrankung. Das Alter wurde, entsprechend epidemiologischer Daten^[4,86,87], so gewählt, dass das Studienkollektiv dem Alter der Risikopatienten entsprach. Insgesamt entsprachen 196 DRF den Einschlusskriterien. Die erhobenen Patienten- und unfallspezifischen Daten umfassten das Geschlecht, Alter, Unfallursache und Lokalisation der Fraktur (rechts / links). Ein Sturz aus dem Stand oder geringerer Höhe wurde als inadäquates Trauma gewertet^[88]. Die durchgeführten radiologischen Messungen sind in Abbildung 5 dargestellt. Alle Messungen wurden digital (IMPAX ES DS 3000, Agfa1) und parallel von zwei Ärzten (S.B. und R.S) durchgeführt. Alle Frakturen wurden entsprechend der AO-Klassifikation klassifiziert (Abbildung 2)^[15].

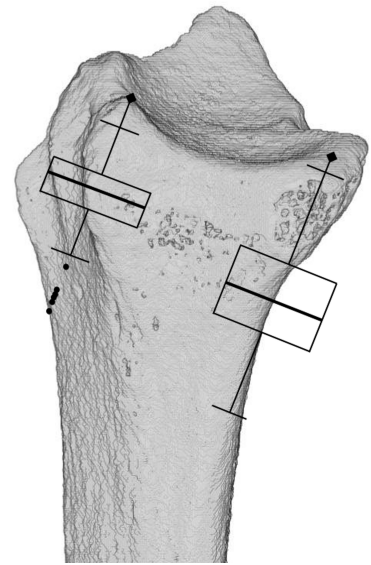
Die statistische Auswertung erfolgte mittels deskriptiver Statistik sowie Student T-Test und Pearsons Korrelation (SPSS 16.0).



Ergebnisse

39 Frakturen mussten wegen fehlender, bicorticaler Stufenbildung ausgeschlossen werden. 157 DRF, davon 69 rechtsseitig, 80% weiblich mit einem Altersdurchschnitt von $58,5 \pm 9,8$ Jahre, wurden in die finale Analyse eingeschlossen. 54 Frakturen waren extraartikulär (AO-23-A2 = 13, A3 = 41), 103 intraartikulär (AO-23-C1 = 2, C2 = 44, C3 = 57). Die DFL war dorsalseitig $7,9 \pm 2,7$ mm (95% CI: 7,4 - 8,3 mm), volarseitig $11,7 \pm 3,9$ mm (95% CI: 11,1 - 12,3 mm) proximal dem dorsalen/volaren Apex der Fossa lunata lokalisiert (Abb. 9). Die dorsale DFL war signifikant weiter distal als die palmare DFL ($p < 0,001$). Weder Patientenalter ($p_d = 0.516$, $p_p = 0.466$), Unfallmechanismus (adäquates vs. inadäquates Trauma, $p_d = 0.140$, $p_p = 0.672$) noch Frakturkomplexität entsprechend der AO-Klassifikation (23-A vs. 23-C, $p_d=0.534$, $p_p=0.568$) hatten einen Einfluss auf die Frakturlokalisierung.

Abbildung 6: Illustration (Boxplots) der dorsalen und volaren distalen Frakturlokalisierung



Reproduziert mit Erlaubnis des Journal of Orthopaedic Research

Diskussion & Schlussfolgerung

In dieser Studie wurde erstmals systematisch die DFL der DRF loco typico erfasst sowie der Einfluss verschiedener demographischer und frakturassoziierter Faktoren auf die DFL untersucht. Neben einer klar definierten, von palmar proximal nach dorsal distal verlaufenden Frakturlinie, konnte kein signifikanter Einfluss des Patientenalters, Unfallmechanismus oder der Frakturkomplexität auf die Frakturlokalisierung gezeigt werden. Diese fehlende Korrelation könnte darauf hindeuten, dass die hier identifizierte Frakturlinie die distale Grenze einer Zone markiert, in welcher es zu DRF kommt.

Die Vermessung an Röntgenbildern ist eine Limitation dieser Studie, da die Raumauflösung der Schichtbildgebung deutlich höher ist. Allerdings erfolgte die Vermessung der volaren und dorsalen distalen Frakturlokalisierung zwischen dem Apex der Fossa lunata und der distalsten kortikalen Unterbrechung, also dem distalsten Frakturausläufer des distalen Frakturfragmentes.

Die Untersuchung der eigentlichen Frakturlinie wäre nur an einem computertomographischen Datensatz möglich gewesen. Um darüber hinaus die Qualität der radiologischen Messungen sicherzustellen, wurden zum einen nur streng orthogonale Röntgenbilder eingeschlossen^[92], zum anderen erfolgte die Auswertung durch zwei Untersucher parallel und im Konsensus. Sowohl das Patientenalter und die Geschlechtsverteilung, als auch die radiologischen Standardmessungen waren vergleichbar mit früheren Studien^[29,90,93]. Des Weiteren sind die große Anzahl der analysierten Frakturen sowie die standardisierte Auswertung der DFL Stärken dieser Studie.

Zusammengefasst handelt es sich hier um die erste Untersuchung, die eine Quantifizierung der Frakturlokalisation vorgenommen hat. Es konnte gezeigt werden, dass die DFL gut definiert ist, schräg von palmar proximal nach dorsal distal verläuft und unabhängig von dem Unfallmechanismus und der Frakturkomplexität ist.

BIOMECHANISCHES FRAKTURMODELL

[Biomec. Fract. Mod.]

DRF gehören zu den häufigsten Frakturen und werden häufig operativ versorgt. Die dabei verwendeten Osteosyntheseverfahren werden mithilfe biomechanischer Versuche entwickelt, getestet und untereinander verglichen. Wie eingangs beschrieben, existieren bereits eine Vielzahl von biomechanischen Frakturmodellen der DRF (AO 23-A3). Diese unterscheiden sich primär durch die Lokalisation der Keilosteotomie. Aktuell ist unklar an welcher Stelle die Keilosteotomie gesetzt werden sollte, um die *in vivo* Situation bestmöglichst wiederzuspiegeln. Basierend auf den Ergebnissen der oben angeführten Studie, erscheint die derzeit am häufigsten verwendete Osteotomielokalisation (2cm proximal der Gelenkfläche) deutlich zu weit proximal. Welchen Einfluss die Lokalisation der Keilosteotomie auf die biomechanischen Eigenschaften des Frakturmodells hat ist unbekannt. Der Autor hypothetisiert, dass die Lokalisation der Keilosteotomie einen signifikanten Einfluss auf die Hebelarme und damit auf die Kraftübertragung über die Plattenosteosynthese hat. Darüber hinaus führt eine weiter distal gelegene Osteotomie zu einem kleineren distalen Frakturfragment. Dies könnte einen Einfluss auf die Verankerung der distalen Schrauben der volaren Plattenosteosynthese haben.

Basierend auf der vorangegangenen Untersuchung, war das Ziel dieser Studie die Entwicklung eines neuen biomechanischen Frakturmodells (nFx) der DRF loco typico (AO-23-A3) sowie deren Vergleich zu dem derzeitigen Goldstandard (sFx).

Die Durchführung der Studie wurde durch die jeweiligen lokalen Ethikkommissionen genehmigt (AUVA 16/2011; LMU 024-12).

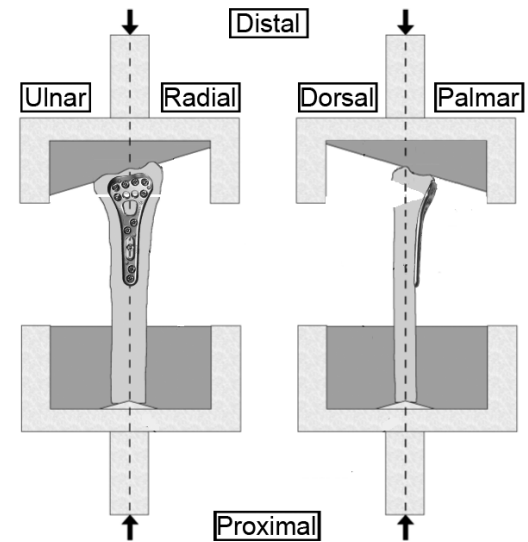
Entwicklung des Frakturmodell

Basierend auf der Vorarbeit zur Entwicklung eines standardisierten biomechanischen Frakturmodells [64,65], der eingangs beschriebenen Literaturrecherche zu den derzeit verwendeten biomechanischen Frakturmodellen sowie der Studie zur Frakturlokalisation [18], wurde das in Abbildung 7 dargestellte biomechanische Frakturmodell entwickelt.

Vorarbeit

In einer Vorstudie an Kunstknochen (Large left radius #1027, Sawbone, Sweden) wurden die beiden Frakturmodelle gegeneinander getestet (nFx: n = 7 vs. sFx: n = 7). Eine schematische Darstellung beider Frakturmodelle ist in Abbildung 8.1/2 zu sehen. Die Prüfstücke wurden wie unten beschrieben vorbereitet und anschließend in einer MTS (MTS 858 MiniBionix, MTS Systems Corp., USA), entsprechend einem früheren Belastungsprotokoll [94,95], bis zum Versagen getestet. Dabei konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den erhobenen biomechanischen Parametern der beiden Frakturmodelle gezeigt werden (Tabelle 2). Interessanterweise kam es zu einem Versagen der Platten-Schrauben Verankerung bei einem Prüfstück im sFx, aber bei vier Prüfstücken im nFx.

Abbildung 7: Schematische Zeichnung des neu entwickelten biomechanischen Frakturmodell der DRF (AO-23-A3)



Die Pfeile und gestrichelten Linien illustrieren die Kraftachse

Tabelle 2: Deskriptive und vergleichende Statistik zwischen den erhobenen biomechanischen Parametern des sFx und nFx in der Vorstudie an Kunstknochen.

	sFx				nFx				T-Test
	MW	SD	95% CI ³		MW	SD	95% CI ³		
			UG	OG			UG	OG	
Axiale Steifigkeit [N/mm]	793	129	674	912	742	89	660	825	0.404
Arbeit [N*mm]	3700	228	3489	3910	3698	302	3418	3978	0.991
Last bei -5mm ¹ [N]	-1623	145	-1756	-1489	-1517	166	-1671	-1363	0.229
Restverschiebung ² [mm]	-2.18	0.38	-2.53	-1.83	-2.31	0.29	-2.58	-2.04	0.483

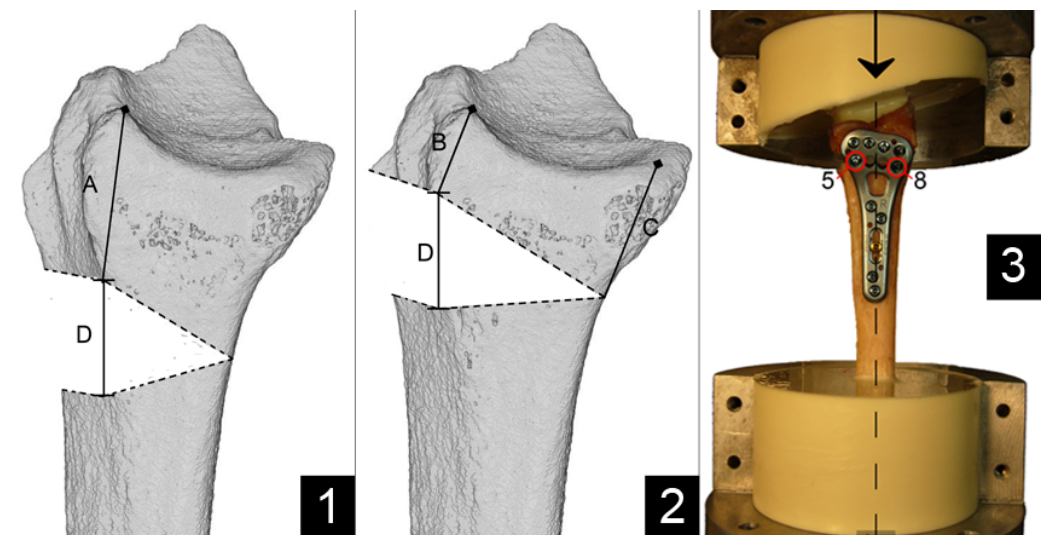
sFx: Gold-Standard Frakturmodell; nFx: neues Frakturmodell; ¹Last bei -5mm Verschiebung; ²Restverschiebung nach Entlastung; ³95% Konfidenzintervall; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; UG / OG: Unter- / Obergrenze; Die Abbildung wurde von der Originalpublikation in BMC Musculoskeletal Disorders, BioMed Central [96] übernommen.

Material und Methoden

Bei elf frischen, gefrorenen Radiuspaaren (Zentrum für Anatomie und Zellbiologie, Medizinische Universität Wien) wurde die Knochendichte (BMD) sowie die Knochenmasse (BMC) mittels μ CT (VivaCT 75, SCANCO Medical AG, Switzerland) gemessen und die Prüfstücke anhand der Scout-Views auf Läsionen überprüft. Anschließend wurden, mit Hilfe des ‚drill guide blocks‘ (A-2723.01), volare, winkelstabile Platten (APTUS Radius 2.5®, A-4750-61, Medartis Inc., Basel, Schweiz) auf die Prüfstücke montiert. Im Sinne einer Pseudorandomisierung wurde die Osteotomielokalisation innerhalb der Radiuspaare alterniert. Die jeweilige Osteotomielokalisation (sFx vs. nFx) ist in Abbildung 8.1/2 dargestellt.

Anschließend wurden die Prüfstücke 50 mm proximal der Plattenspitze gekürzt, in einer speziell angefertigten Haltevorrichtung axial ausgerichtet und proximal 40 mm in Polyurethan (PU, Type SG 141/4 and PUR 145, FDW Handelsges.m.b.H., Österreich) eingebettet. Von der distalen Gelenkfläche wurde ein Positiv angefertigt. Abbildung 8.3 zeigt das finale Setup.

Abbildung 8: Darstellung der beiden Frakturmodelle sowie dem biomechanischen Versuchsaufbau



1) Goldstandard Frakturmodell: A: 20mm, D 10mm; 2) Neues Frakturmodell: B: 8 mm, C 12 mm, D 10 mm; 3) Biomechanischer Versuchsaufbau: Der Pfeil und die gestrichelte Linie illustrieren die Kraftachse, Schrauben Nummer 5 und 8 werden erst nach setzten der Keilosteotomie platziert.

Die Abbildung wurde aus der Originalpublikation in BMC Musculoskeletal Disorders, BioMed Central ^[96] übernommen

Biomechanische Testung und Statistik

Zu der biomechanischen Testung wurden die Prüfstücke wieder in den Aluminiumcontainern platziert und in die Material-Prüfmaschine (MTS 858 MiniBionix, MTS Systems Corp., USA) eingespannt. Die Prüfstücke wurden entsprechend einem zyklischen, axialen Kompressionstest bis zum Versagen oder einer Auslenkung von 3 mm getestet ^[97]: Vorlast von -20 N, 10 Konsolidierungszyklen zwischen -50 N und -300 N mit 40 N/s, dann zyklische Laststeigerung um 100 N pro Zyklus bei 300 N/s. Anhand der Kraft-Weg-Kurven wurden die maximale Last (letzter vollständig durchlaufener Zyklus) sowie die folgenden Parameter für jeden Zyklus berechnet: Weg bei maximaler Last, Arbeit und Steifigkeit.

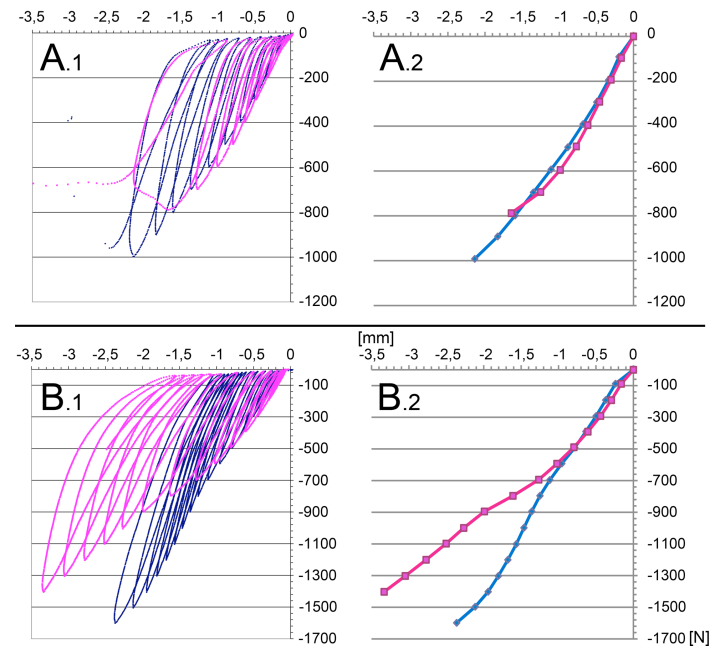
Zur statistischen Auswertung wurden die folgenden Tests verwendet: deskriptive Statistik, linear gemischtes Modell (Wald Test) und t-Test. Die Statistik wurde mittels der Software R (Version 2.11) bei einem Signifikanzniveau von 0.05 berechnet.

Ergebnisse

Sieben weibliche und drei männliche Radiuspaare mit einem Durchschnittsalter von 74 ± 9 Jahren und vergleichbaren BMD- / BMC Werten wurden getestet. Ein Paar wurde aufgrund einer metaphysären Raumforderung ausgeschlossen.

Exemplarische Kraft-Weg und Maximalkraft-Weg Diagramme sind in Abbildung 9 dargestellt. Innerhalb aller Prüfstückpaare zeigten sich vergleichbare Kraft-Weg Diagramme bei niedrigen Lasten. Bei steigender Last war das sFx bei sieben der zehn Prüfstückpaare deutlich steifer als das nFx (Abb. 9.B). In drei Prüfstückpaaren konnte dies nicht nachgewiesen werden, wobei es hier

Abbildung 9: Exemplarische Kraft-Weg Diagramme (1) und Maximalkraft-Weg Diagramme (2).



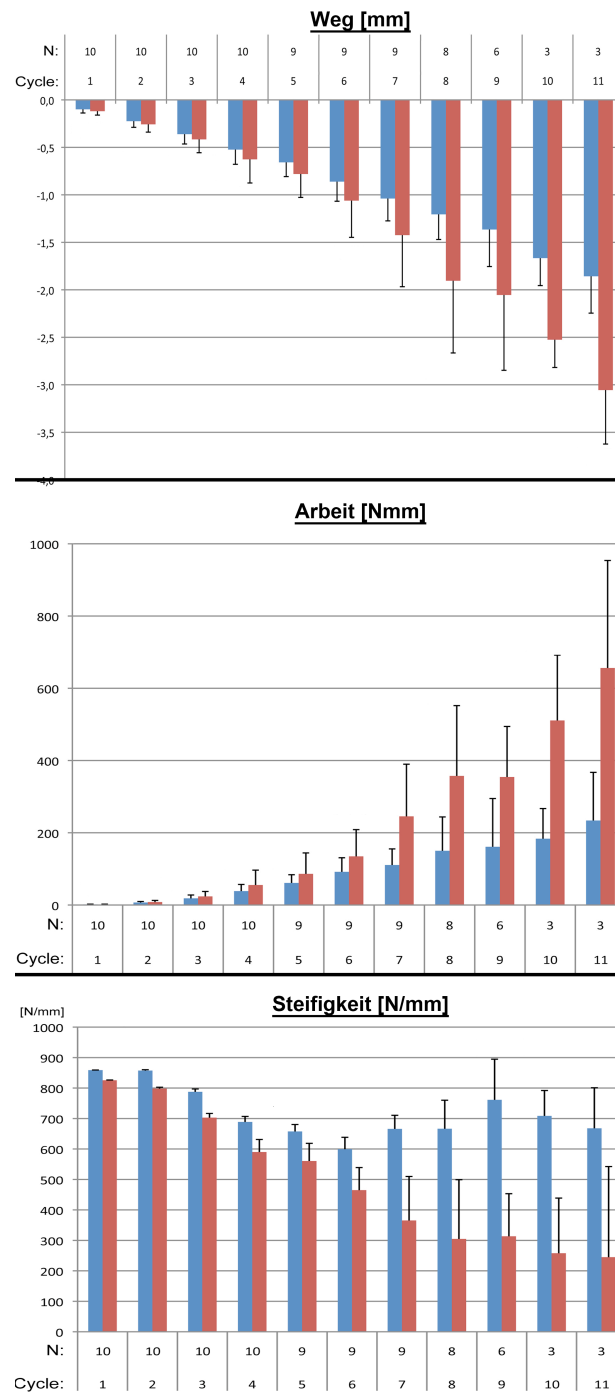
Blaue Kurve: Gold-Standard Frakturmodell; Rosa Kurve: Neues Frakturmodell; A) Atypisches (Maximal)Kraft-Weg Diagram (n=3); B) Typische (Maximal)Kraft-Weg Diagram (n=7);

Abbildung übernommen aus BMC Musculoskeletal Disorders, BioMed Central ^[96]

zu einem deutlich früheren Versagen des nFx kam (nFx : sFx; 900 N : 1000 N; 800 N : 1000 N; 900 N : 1800 N).

Abbildung 10 zeigt zyklusweise die Mittelwerte und Standardabweichungen für Weg, Arbeit und Steifigkeit. Der Wald Test ergab für das gemischte lineare Model signifikante Unterschiede zwischen den beiden Frakturmodellen ($p < 0.001$). Die durchschnittliche Maximallast des nFx war signifikant geringer als die des sFx ($860 \text{ N} \pm 232 \text{ N}$ vs. $1250 \text{ N} \pm 341 \text{ N}$; $p = 0,001$).

Abbildung 10: Deskriptive Statistik, zyklusweise, für Weg, Arbeit und Steifigkeit.



Blaue Kurve: Gold-Standard Frakturmodell; Rosa Kurve: Neues Frakturmodell; N= Anzahl der Prüfpaae; Cycles: Anzahl der Zyklen (Anzahl der Zyklen x 100N = Maximale Last für diesen Zyklus)

Abbildung übernommen aus BMC Musculoskeletal Disorders, BioMed Central^[96]

Diskussion & Schlussfolgerung

Das hier vorgestellt nFx imponiert v.a. durch eine erstmals validierte Lokalisation der Keilosteotomie. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass die Lokalisation der Keilosteotomie einen signifikanten Einfluss auf das biomechanische Verhalten des Modells hat, insbesondere zu einer signifikant geringeren Steifigkeit des nFx. Das deutlich kleinere Volumen des distalen Frakturfragmentes führte jedoch zu keinem früheren Versagen der distalen Schraubenverankerung der volaren Plattenosteosynthese, was dem Ergebnis zweier rezenter Arbeiten entspricht ^[94,98].

Limitationen der Studie sind das vereinfachte Frakturmodell, ein unilaterales Belastungsprotokoll, das Fehlen von Ermüdungstests sowie variierende Kraft-Weg Diagramme in drei Prüfstückpaaren. Stärken dieser Studie sind die Verwendung von frischen, gefrorenen Radii, ein ähnliches Verhalten aller Prüfstücke bei niedrigen Lasten, was für die Reproduzierbarkeit des Modells spricht, sowie die Pseudorandomisierung der Frakturmodelle. Darüber hinaus war sowohl die mittlere Versagenslast des sFx ^[57,99,100] als auch der mittlere BMD / BMC ^[101,102] vergleichbar mit früheren Studien.

Zusammengefasst handelt es sich bei dem hier vorgestellten Frakturmodell um das erste evidenzbasierte biomechanische Frakturmodell der DRF (AO-23-A3). Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass die Osteotomielokalisation einen signifikanten Einfluss auf die biomechanische Beanspruchung der Osteosynthese hat.

REFERENZEN

1. Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis. Report of a WHO Study Group. *World Health Organization technical report series*. 1994;**843**:1-129
2. US Department of Health and Human Services and Office of Surgeon General, Bone Health And Osteoporosis: A Report Of The Surgeon General, Rockville. 2004:20
3. Riggs BL, Melton LJ. The worldwide problem of osteoporosis: insights afforded by epidemiology. *Bone*. 1995;**17**:505S-511S
4. Singer BR, McLauchlan GJ, Robinson CM, Christie J. Epidemiology of fractures in 15,000 adults: the influence of age and gender. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 1998;**80**:243-248
5. Breasted JH. *The Edwin Smith surgical papyrus. special edition. Birmingham (AL): The Classics of Medicine Library*. 1984.
6. Petit JL. *L'Art de Guérir les Maladies des Os.*, 1705:304.
7. Pouteau C. Posthumes de M. Pouteau: Memoire, contenant quelques reflexions sur quelques fractures de l'avant-bras, sur les luxations incomplettes du poignet et sur le diastasis. *Paris, Ph.-D. Pierres*. 1783
8. Colles A. On the fracture of the carpal extremity of the radius. *Edinb Med Surg J*. 1814;10:181. *Clin Orthop Relat Res*. 2006;**445**:5-7
9. van Staa TP, Dennison EM, Leufkens HG, Cooper C. Epidemiology of fractures in England and Wales. *Bone*. 2001;**29**:517-522
10. Holmberg A, Johnell O, Nilsson P, Nilsson J, Berglund G, Akesson K. Risk factors for fragility fracture in middle age. A prospective population-based study of 33,000 men and women. *Osteoporosis international*. 2006;**17**:1065-1077
11. Diamantopoulos AP, Rohde G, Johnsrud I, Skoie IM, Hochberg M, Haugeberg G. The epidemiology of low- and high-energy distal radius fracture in middle-aged and elderly men and women in Southern Norway. *PLoS ONE*. 2012;**7**:e43367

12. Boufous S, Finch C, Lord S, Close J, Gothelf T, Walsh W. The epidemiology of hospitalised wrist fractures in older people, New South Wales, Australia. *Bone*. 2006;**39**:1144-1148
13. Court-Brown CM, Caesar B. Epidemiology of adult fractures: A review. *Injury*. 2006;**37**:691-697
14. Cummings SR, Black DM, Rubin SM. Lifetime risks of hip, Colles', or vertebral fracture and coronary heart disease among white postmenopausal women. *Arch Intern Med*. 1989;**149**:2445-2448
15. E Müller M, Nazarian S, Koch P, Schatzker J. The Comprehensive Classification of Fractures of Long Bones. *New York: Springer Verlag*. 1990:54–63
16. Oskam J, Kingma J, Klasen HJ. Interrater reliability for the basic categories of the AO/ASIF's system as a frame of reference for classifying distal radial fractures. *Perceptual and motor skills*. 2001;**92**:589-594
17. Matter P. History of the AO and its global effect on operative fracture treatment. *Clin Orthop Relat Res*. 1998:11-18
18. Baumbach SF, Schmidt R, Varga P, Heinz T, Vécsei V, Zysset PK. Where is the distal fracture line location of dorsally displaced distal radius fractures? *J Orthop Res*. 2011;**29**:489-494
19. Hollevoet N, Verdonk R. Outcome of distal radius fractures in relation to bone mineral density. *Acta Orthop Belg*. 2003;**69**:510-514
20. Vogt MT, Cauley JA, Tomaino MM, Stone K, Williams JR, Herndon JH. Distal radius fractures in older women: a 10-year follow-up study of descriptive characteristics and risk factors. The study of osteoporotic fractures. *J Am Geriatr Soc*. 2002;**50**:97-103
21. Schnependahl J, Windolf J, Kaufmann RA. Distal radius fractures: current concepts. *The Journal of hand surgery*. 2012;**37**:1718-1725
22. Karantana A, Davis TRC. Extra-articular fractures of the distal radius--a European view point. *Hand Clinics*. 2012;**28**:145-150
23. Yoon A, Grewal R. Management of distal radius fractures from the North American perspective. *Hand Clinics*. 2012;**28**:135-144
24. Atroshi I, Brogren E, Larsson G-U, Kloow J, Hofer M, Berggren A-M. Wrist-bridging versus non-bridging external fixation for displaced distal radius fractures: a randomized

- assessor-blind clinical trial of 38 patients followed for 1 year. *Acta Orthop.* 2006;**77**:445-453
25. Kettler M, Kuhn V, Schieker M, Melone CP. Do We need to include osteoporosis in today's classification of distal radius fractures? *Journal of orthopaedic trauma.* 2008;**22**:S79-82
 26. Handoll HHG, Madhok R, Howe TE. Rehabilitation for distal radial fractures in adults. *Cochrane database of systematic reviews (Online).* 2006;**3**:CD003324
 27. Chung KC, Shauver MJ, Birkmeyer JD. Trends in the United States in the treatment of distal radial fractures in the elderly. *The Journal of bone and joint surgery American volume.* 2009;**91**:1868-1873
 28. Beharrie AW, Beredjiklian PK, Bozentka DJ. Functional outcomes after open reduction and internal fixation for treatment of displaced distal radius fractures in patients over 60 years of age. *Journal of orthopaedic trauma.* 2004;**18**:680-686
 29. Mackenney PJ, McQueen MM, Elton R. Prediction of instability in distal radial fractures. *The Journal of bone and joint surgery American volume.* 2006;**88**:1944-1951
 30. Strange-Vognsen HH. Intraarticular fractures of the distal end of the radius in young adults. A 16 (2-26) year follow-up of 42 patients. *Acta orthopaedica Scandinavica.* 1991;**62**:527-530
 31. Arora R, Gabl M, Gschwentner M, Deml C, Krappinger D, Lutz M. A comparative study of clinical and radiologic outcomes of unstable colles type distal radius fractures in patients older than 70 years: nonoperative treatment versus volar locking plating. *Journal of orthopaedic trauma.* 2009;**23**:237-242
 32. Synn AJ, Makhni EC, Makhni MC, Rozental TD, Day CS. Distal radius fractures in older patients: is anatomic reduction necessary? *Clin Orthop Relat Res.* 2009;**467**:1612-1620
 33. Arora R, Lutz M, Deml C, Krappinger D, Haug L, Gabl M. A prospective randomized trial comparing nonoperative treatment with volar locking plate fixation for displaced and unstable distal radial fractures in patients sixty-five years of age and older. *The Journal of bone and joint surgery American volume.* 2011;**93**:2146-2153
 34. Anzarut A, Johnson JA, Rowe BH, Lambert RGW, Blitz S, Majumdar SR. Radiologic and patient-reported functional outcomes in an elderly cohort with conservatively treated distal radius fractures. *The Journal of hand surgery.* 2004;**29**:1121-1127

35. Henry MH. Distal radius fractures: current concepts. *The Journal of hand surgery*. 2008;**33**:1215-1227
36. Orbay JL, Touhami A. Current concepts in volar fixed-angle fixation of unstable distal radius fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 2006;**445**:58-67
37. Lozano-Calderón SA, Souer S, Mudgal C, Jupiter JB, Ring D. Wrist mobilization following volar plate fixation of fractures of the distal part of the radius. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2008;**90**:1297-1304
38. Chung KC, Squitieri L, Kim HM. Comparative outcomes study using the volar locking plating system for distal radius fractures in both young adults and adults older than 60 years. *The Journal of hand surgery*. 2008;**33**:809-819
39. Lafontaine M, Hardy D, Delince P. Stability assessment of distal radius fractures. *Injury*. 1989;**20**:208-210
40. Eckstein F, Kuhn V, Lochmüller E-M. Strength prediction of the distal radius by bone densitometry--evaluation using biomechanical tests. *Annals of biomedical engineering*. 2004;**32**:487-503
41. Spadaro JA, Werner FW, Brenner RA, Fortino MD, Fay LA, Edwards WT. Cortical and trabecular bone contribute strength to the osteopenic distal radius. *J Orthop Res*. 1994;**12**:211-218
42. Augat P, Iida H, Jiang Y, Diao E, Genant HK. Distal radius fractures: mechanisms of injury and strength prediction by bone mineral assessment. *J Orthop Res*. 1998;**16**:629-635
43. Augat P, Reeb H, Claes LE. Prediction of fracture load at different skeletal sites by geometric properties of the cortical shell. *J Bone Miner Res*. 1996;**11**:1356-1363
44. Xie X, Bärenholdt O. Bone density and geometric properties of the distal radius in displaced and undisplaced Colles' fractures: quantitative CT in 70 women. *Acta orthopaedica Scandinavica*. 2001;**72**:62-66
45. Eastell R, Wahner HW, O'Fallon WM, Amadio PC, Melton LJ, Riggs BL. Unequal decrease in bone density of lumbar spine and ultradistal radius in Colles' and vertebral fracture syndromes. *J Clin Invest*. 1989;**83**:168-174
46. Koh S, Andersen CR, Buford WL, Patterson RM, Viegas SF. Anatomy of the distal brachioradialis and its potential relationship to distal radius fracture. *The Journal of hand surgery*. 2006;**31**:2-8

47. Bengnér U, Johnell O. Increasing incidence of forearm fractures. A comparison of epidemiologic patterns 25 years apart. *Acta orthopaedica Scandinavica*. 1985;**56**:158-160
48. Wolfe SW, Swigart CR, Grauer J, Slade JF, Panjabi MM. Augmented external fixation of distal radius fractures: a biomechanical analysis. *The Journal of hand surgery*. 1998;**23**:127-134
49. Liporace FA, Gupta S, Jeong GK, Stracher M, Kummer F, Egol KA, Koval KJ. A biomechanical comparison of a dorsal 3.5-mm T-plate and a volar fixed-angle plate in a model of dorsally unstable distal radius fractures. *Journal of orthopaedic trauma*. 2005;**19**:187-191
50. Liporace FA, Kubiak EN, Jeong GK, Iesaka K, Egol KA, Koval KJ. A biomechanical comparison of two volar locked plates in a dorsally unstable distal radius fracture model. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*. 2006;**61**:668-672
51. Blythe M, Stoffel K, Jarrett P, Kuster M. Volar versus dorsal locking plates with and without radial styloid locking plates for the fixation of dorsally comminuted distal radius fractures: A biomechanical study in cadavers. *The Journal of hand surgery*. 2006;**31**:1587-1593
52. Kandemir U, Matityahu A, Desai R, Puttlitz C. Does a volar locking plate provide equivalent stability as a dorsal nonlocking plate in a dorsally comminuted distal radius fracture?: a biomechanical study. *Journal of orthopaedic trauma*. 2008;**22**:605-610
53. Strauss EJ, Banerjee D, Kummer FJ, Tejwani NC. Evaluation of a novel, nonspanning external fixator for treatment of unstable extra-articular fractures of the distal radius: biomechanical comparison with a volar locking plate. *The Journal of trauma*. 2008;**64**:975-981
54. Rausch S, Klos K, Stephan H, Hoffmeier K, Gras F, Windolf M, Gueorguiev B, Hofmann GO, Mückley T. Evaluation of a polyaxial angle-stable volar plate in a distal radius C-fracture model - A biomechanical study. *Injury*. 2011
55. Ekenstam F, Hagert CG. The distal radio ulnar joint. The influence of geometry and ligament on simulated Colles' fracture. An experimental study. *Scandinavian journal of plastic and reconstructive surgery*. 1985;**19**:27-31

56. Dunning CE, Lindsay CS, Bicknell RT, Patterson SD, Johnson JA, King GJ. Supplemental pinning improves the stability of external fixation in distal radius fractures during simulated finger and forearm motion. *The Journal of hand surgery*. 1999;**24**:992-1000
57. Koh S, Morris RP, Patterson RM, Kearney JP, Buford WL, Viegas SF. Volar fixation for dorsally angulated extra-articular fractures of the distal radius: a biomechanical study. *The Journal of hand surgery*. 2006;**31**:771-779
58. Gondusky JS, Carney J, Erpenbach J, Robertson C, Mahar A, Oka R, Thompson M, Mazurek M. Biomechanical comparison of locking versus nonlocking volar and dorsal T-plates for fixation of dorsally comminuted distal radius fractures. *Journal of orthopaedic trauma*. 2011;**25**:44-50
59. Rausch S, Schlonski O, Klos K, Gras F, Gueorguiev B, Hofmann GO, Mückley T. Volar versus dorsal latest-generation variable-angle locking plates for the fixation of AO type 23C 2.1 distal radius fractures: A biomechanical study in cadavers. *Injury*. 2012
60. Högel F, Mair S, Eberle S, Weninger P, von Oldenburg G, Augat P. Distal radius fracture fixation with volar locking plates and additional bone augmentation in osteoporotic bone: a biomechanical study in a cadaveric model. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 2013;**133**:51-57
61. Stanbury SJ, Salo A, Elfar JC. Biomechanical analysis of a volar variable-angle locking plate: the effect of capturing a distal radial styloid fragment. *The Journal of hand surgery*. 2012;**37**:2488-2494
62. Cooper EO, Segalman KA, Parks BG, Sharma KM, Nguyen A. Biomechanical stability of a volar locking-screw plate versus fragment-specific fixation in a distal radius fracture model. *Am J Orthop*. 2007;**36**:E46-49
63. Rogge RD, Adams BD, Goel VK. An analysis of bone stresses and fixation stability using a finite element model of simulated distal radius fractures. *The Journal of hand surgery*. 2002;**27**:86-92
64. Varga P, Baumbach S, Pahr D, Zysset PK. Validation of an anatomy specific finite element model of Colles' fracture. *Journal of biomechanics*. 2009;**42**:1726-1731
65. Baumbach SF, Zysset PK. An experimental model for Colles' Fracture. *Thesis, Medical University of Vienna, Vienna, AT*. 2009

66. Bonel HM, Lochmüller E-M, Well H, Kuhn V, Hudelmaier M, Reiser M, Eckstein F. Multislice computed tomography of the distal radius metaphysis: relationship of cortical bone structure with gender, age, osteoporotic status, and mechanical competence. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*. 2004;**7**:169-182
67. Hudelmaier M, Kollstedt A, Lochmüller EM, Kuhn V, Eckstein F, Link TM. Gender differences in trabecular bone architecture of the distal radius assessed with magnetic resonance imaging and implications for mechanical competence. *Osteoporosis international* 2005;**16**:1124-1133
68. Hudelmaier M, Kuhn V, Lochmüller EM, Well H, Priemel M, Link TM, Eckstein F. Can geometry-based parameters from pQCT and material parameters from quantitative ultrasound (QUS) improve the prediction of radial bone strength over that by bone mass (DXA)? *Osteoporosis international* 2004;**15**:375-381
69. Metz S, Kuhn V, Kettler M, Hudelmaier M, Bonel HM, Waldt S, Hollweck R, Renger B, Rummeny EJ, Link TM. Comparison of different radiography systems in an experimental study for detection of forearm fractures and evaluation of the Müller-AO and Frykman classification for distal radius fractures. *Investigative radiology*. 2006;**41**:681-690
70. Lochmüller E-M, Kristin J, Matsuura M, Kuhn V, Hudelmaier M, Link TM, Eckstein F. Measurement of trabecular bone microstructure does not improve prediction of mechanical failure loads at the distal radius compared with bone mass alone. *Calcif Tissue Int*. 2008;**83**:293-299
71. Frykman G. Fracture of the distal radius including sequelae--shoulder-hand-finger syndrome, disturbance in the distal radio-ulnar joint and impairment of nerve function. A clinical and experimental study. *Acta orthopaedica Scandinavica*. 1967;**Suppl 108**:3+
72. Eckstein F, Lochmüller E-M, Lill CA, Kuhn V, Schneider E, Delling G, Müller R. Bone strength at clinically relevant sites displays substantial heterogeneity and is best predicted from site-specific bone densitometry. *J Bone Miner Res*. 2002;**17**:162-171
73. Lochmüller E-M, Lill CA, Kuhn V, Schneider E, Eckstein F. Radius bone strength in bending, compression, and falling and its correlation with clinical densitometry at multiple sites. *J Bone Miner Res*. 2002;**17**:1629-1638

74. Pistoia W, van Rietbergen B, Lochmüller E-M, Lill CA, Eckstein F, Rüegsegger P. Estimation of distal radius failure load with micro-finite element analysis models based on three-dimensional peripheral quantitative computed tomography images. *Bone*. 2002;**30**:842-848
75. Lill CA, Goldhahn J, Albrecht A, Eckstein F, Gatzka C, Schneider E. Impact of bone density on distal radius fracture patterns and comparison between five different fracture classifications. *Journal of orthopaedic trauma*. 2003;**17**:271-278
76. Gordon CL, Webber CE, Nicholson PS. Relation between image-based assessment of distal radius trabecular structure and compressive strength. *Canadian Association of Radiologists journal = Journal l'Association canadienne des radiologistes*. 1998;**49**:390-397
77. Myers ER, Sebeny EA, Hecker AT, Corcoran TA, Hipp JA, Greenspan SL, Hayes WC. Correlations between photon absorption properties and failure load of the distal radius in vitro. *Calcif Tissue Int*. 1991;**49**:292-297
78. Njeh CF, Wu C, Fan B, Hans D, Fuerst T, He Y, Genant HK. Estimation of wrist fracture load using phalangeal speed of sound: an in vitro study. *Ultrasound in medicine & biology*. 2000;**26**:1517-1523
79. Wu C, Hans D, He Y, Fan B, Njeh CF, Augat P, Richards J, Genant HK. Prediction of bone strength of distal forearm using radius bone mineral density and phalangeal speed of sound. *Bone*. 2000;**26**:529-533
80. Myers ER, Hecker AT, Rooks DS, Hipp JA, Hayes WC. Geometric variables from DXA of the radius predict forearm fracture load in vitro. *Calcif Tissue Int*. 1993;**52**:199-204
81. Horsman A, Currey JD. Estimation of mechanical properties of the distal radius from bone mineral content and cortical width. *Clin Orthop Relat Res*. 1983:298-304
82. Wigderowitz CA, Paterson CR, Dashti H, McGurty D, Rowley DI. Prediction of bone strength from cancellous structure of the distal radius: can we improve on DXA? *Osteoporosis international* 2000;**11**:840-846
83. Muller ME, Webber CE, Bouxsein ML. Predicting the failure load of the distal radius. *Osteoporosis international*. 2003;**14**:345-352
84. Ashe MC, Khan KM, Kontulainen SA, Guy P, Liu D, Beck TJ, McKay HA. Accuracy of pQCT for evaluating the aged human radius: an ashing, histomorphometry and failure load investigation. *Osteoporosis international*. 2006;**17**:1241-1251

85. Macneil JA, Boyd SK. Bone strength at the distal radius can be estimated from high-resolution peripheral quantitative computed tomography and the finite element method. *Bone*. 2008;**42**:1203-1213
86. Miller SW, Evans JG. Fractures of the distal forearm in Newcastle: an epidemiological survey. *Age and ageing*. 1985;**14**:155-158
87. Alffram P, Bauer G. Epidemiology of fractures of the forearm. A biomechanical investigation of bone strength. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1962;**44-A**:105-114
88. Mallmin H, Ljunghall S. Incidence of Colles' fracture in Uppsala. A prospective study of a quarter-million population. *Acta orthopaedica Scandinavica*. 1992;**63**:213-215
89. Goldfarb CA, Yin Y, Gilula LA, Fisher AJ, Boyer MI. Wrist fractures: what the clinician wants to know. *Radiology*. 2001;**219**:11-28
90. Freund W, Einsiedel T, Trnavac S, Aschoff AJ, Kramer M. [Complaints in the follow-up of conservatively treated distal radius fractures--predictors in the initial radiograph]. *RöFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*. 2007;**179**:627-633
91. Medoff RJ. Essential radiographic evaluation for distal radius fractures. *Hand Clinics*. 2005;**21**:279-288
92. Lundy DW, Quisling SG, Lourie GM, Feiner CM, Lins RE. Tilted lateral radiographs in the evaluation of intra-articular distal radius fractures. *The Journal of hand surgery*. 1999;**24**:249-256
93. Bozentka DJ, Beredjiklian PK, Westawski D, Steinberg DR. Digital radiographs in the assessment of distal radius fracture parameters. *Clin Orthop Relat Res*. 2002:409-413
94. Weninger P, Dall'ara E, Drobetz H, Nemec W, Figl M, Redl H, Hertz H, Zysset P. Multidirectional volar fixed-angle plating using cancellous locking screws for distal radius fractures - Evaluation of three screw configurations in an extra-articular fracture model. *Wien Klin Wochenschr*. 2011;**123**:4-10
95. Weninger P, Dall'ara E, Leixnering M, Pezzei C, Hertz H, Drobetz H, Redl H, Zysset P. Volar Fixed-Angle Plating of Extra-Articular Distal Radius Fractures-A Biomechanical Analysis Comparing Threaded Screws and Smooth Pegs. *The Journal of trauma*. 2010;**69**:E46-55

96. Baumbach SF, Dall Ara E, Weninger P, Antoni A, Traxler H, Dörr M, Zysset PK. Assessment of a novel biomechanical fracture model for distal radius fractures. *BMC musculoskeletal disorders*. 2012;**13**:252
97. Wolfram U, Wilke H-J, Zysset PK. Damage accumulation in vertebral trabecular bone depends on loading mode and direction. *Journal of biomechanics*. 2011;**44**:1164-1169
98. Greenberg JA, Warden S, Izadi KD. The Effect Of Screw Length On Fracture Stability In Volar Locked Plating Of Distal Radius Fractures. *Annual Meeting of the American Association of Orthopaedic Surgeons*. 2010:1-1
99. Mehling I, Müller LP, Delinsky K, Mehler D, Burkhart KJ, Rommens PM. Number and locations of screw fixation for volar fixed-angle plating of distal radius fractures: biomechanical study. *The Journal of hand surgery*. 2010;**35**:885-891
100. Krukhaug Y, Gjerdet NR, Lundberg OJ, Lilleng PK, Hove LM. Different osteosyntheses for Colles' fracture: a mechanical study in 42 cadaver bones. *Acta Orthop*. 2009;**80**:239-244
101. Engelke K, Libanati C, Liu Y, Wang H, Austin M, Fuerst T, Stampa B, Timm W, Genant HK. Quantitative computed tomography (QCT) of the forearm using general purpose spiral whole-body CT scanners: accuracy, precision and comparison with dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). *Bone*. 2009;**45**:110-118
102. Varga P, Pahr DH, Baumbach S, Zysset PK. HR-pQCT based FE analysis of the most distal radius section provides an improved prediction of Colles' fracture load in vitro. *Bone*. 2010;**47**:982-988

EIGENANTEIL AN DEN VORGELEGTEN ARBEITEN

Frakturlokalisation

Basierend auf der in Wien verfassten Diplomarbeit ^[64,65] wurde die Fragestellung sowie die Konzeptionierung der Studie von Herrn Baumbach selbstständig erarbeitet. Die Datenerfassung wurde zusammen mit Herrn Dr. R. Schmidt durchgeführt, die Patientenselektion fand durch den Doktoranten statt. Dieser war auch für die entsprechende Literaturrecherche sowie für das Verfassen der Arbeit zuständig. Die Supervision der Studie lag bei Prof. K. Zysset, PhD sowie Prof. V. Vécsei. Herr P. Varga, PhD und Herr Prof. T. Heinz unterstützen den Doktoranten bei der Statistik sowie der Korrektur des Manuskripts.

Biomechanisches Frakturmodell

Nach Definition der Frakturlokalisation der DRF erarbeitet Herr Baumbach selbstständig die Fragestellung sowie das Studiendesign dieser Arbeit. Bei der Planung des Belastungsprotokolls wurde der Doktorand durch Herrn E. Dall'Ara, PhD unterstützt. Nach Aufarbeitung der Prüfstücke durch Frau Dr. A. Antoni, erfolgte deren vollständige Präparation durch Herrn Baumbach. Die eigentliche Durchführung der biomechanischen Test, d.h. die Bedienung der MTS, oblag Herrn E. Dall'Ara, wobei er durch den Antragssteller unterstützt wurde. Herr PD Dr. P. Weninger und Herr Prof. H. Traxler waren für die Organisation der Knochendichtemessung sowie der Prüfstückakquise verantwortlich. Mit der Unterstützung von Herrn Dip. stat. M. Dörr wurden die finale Statistik berechnet. Die Supervision der Studie oblag wiederum Herrn Prof. K. Zysset, PhD. Das Manuskript wurde durch Herrn Baumbach selbstständig verfasst und von allen Co-Autoren korrektur gelesen.

ANHANG

Stipendium Medizinische Universität Wien [Fract. Loc.]



Forschungssupport

Leiter Univ. Prof. Dr. Otto
Scheiner

Email: helene.semelliker
@meduniwien.ac.at

Telefon: +43 1 40160- 10122

Herrn
Dr. Sebastian BAUMBACH
Goldschlagstraße 112/51
1150 Wien

Email: sebastian.baumbach@yahoo.com

Wien, am 16.9.2009

Betrifft: Ihr Antrag auf Erteilung eines Forschungsstipendiums

Sehr geehrter Herr Dr. Baumbach!

Es freut mich Ihnen mitteilen zu dürfen, dass Ihr Antrag um Gewährung eines Forschungsstipendiums positiv begutachtet wurde.

Für Ihr Projekt wurde Ihnen für das Kalenderjahr 2009 eine Gesamtsumme von

€ 2.000,00 (beginnend mit 1. September 2009)

zahlbar auf Ihr Konto in einer entsprechenden Anzahl von Monatsraten zu je € 500,-, bewilligt.

Zum Zwecke Ihrer Transparenz erhalten Sie in der Beilage die zutreffenden Richtlinien übermittelt.

Für weitere Rückfragen wenden Sie sich bitte an das Büro des Rektors (40160/10122).

Für Ihr Forschungsprojekt wünsche ich Ihnen viel Erfolg!

Mit freundlichen Grüßen
Univ. Prof. Dr. Otto Scheiner
Leiter des Forschungssupports



Beilage:
w. erwähnt Ausschreibungsrichtlinien

F.d.R.d.A.
Helene Semelliker

cc: ProjektleiterIn

Forschungssupport
Medizinische Universität Wien
Spitalgass 23, 1090 Wien

Votum Ethikkommission Wien [Fract. Loc.]

**ETHIK-KOMMISSION
DER MEDIZINISCHEN UNIVERSITÄT WIEN
UND DES
ALLGEMEINEN KRANKENHAUSES DER STADT WIEN AKH**
Borschkegasse 8b/6 - A-1090 Wien, Austria
☎ 0043 1 404 00 – 2147, 2244 & ☎ 0043 1 404 00 – 1690
E-Mail: ethik-kom@meduniwien.ac.at
www.meduniwien.ac.at/ethik

Sitzung der Ethik-Kommission am 6. Oktober 2009, TOP 81 :

EK Nr: 819/2009

Antragsteller: Univ.Prof.Dr. Thomas HEINZ

Einreichende Institution: Univ.Klin.f. Unfallchirurgie

Projekttitel: Detailed analysis of distal radius fractures. A radiographic measurement study

Die Stellungnahme der Ethik-Kommission erfolgt aufgrund folgender eingereichter Unterlagen:

Dokument	Version/Nr	Datiert
Originalprotokoll:		2009-08-28

Die Kommission fasst folgenden Beschluss (mit X markiert):

- ☒ Es besteht kein Einwand gegen die Durchführung der Studie.
- ☐ Die unten bezeichneten Punkte des Antrages sind entweder noch unerledigt bzw sollten von den Antragstellern geändert/ nachgereicht werden. Nach entsprechender Vorlage/Erledigung kann auch vor der nächsten Ethik-Kommissions Sitzung ein endgültig positiver Beschluss ausgefertigt werden. Der Antrag wird in der nächsten Sitzung der Kommission nicht mehr behandelt.
Achtung: Werden die geforderten Unterlagen von den Antragstellern nicht innerhalb von 3 Sitzungsperioden (ab Datum dieser Sitzung) nachgereicht, gilt der Antrag ohne weitere Benachrichtigung als zurückgezogen und muss gegebenenfalls als Neuantrag eingereicht werden.
- ☐ Es bestehen Einwände gegen die Durchführung der Studie in der eingereichten Form. Die unten angeführten Punkte sollten von den Antragstellern entsprechend geändert und der Kommission neu vorgelegt werden. Der Antrag wird in der nächsten Sitzung der Kommission nochmals behandelt.
Achtung: Werden die geforderten Unterlagen von den Antragstellern nicht innerhalb von 3 Sitzungsperioden (ab Datum dieser Sitzung) nachgereicht, gilt der Antrag ohne weitere Benachrichtigung als zurückgezogen und muß gegebenenfalls als Neuantrag eingereicht werden.
- ☐ Der Antrag wird von der Ethik-Kommission abgelehnt.
- ☐ Der TOP wird bis zur nächsten Sitzung vertagt (Begründung siehe unten)

Kommentare:

Zum Prüfplan :


Zur Patienteninformation :

Zur Versicherungsbestätigung : **nicht erforderlich**

Andere :

Die Ethik-Kommission geht - rechtlich unverbindlich – davon aus, daß es sich um keine klinische Prüfung gemäß AMG/MPG handelt.

Mitgliederliste der Ethik-Kommission (aktueller Stand am Sitzungstag) beiliegend. Mitglieder der Ethik-Kommission, die für diesen Tagesordnungspunkt als befangen anzusehen waren und daher laut Geschäftsordnung an der Entscheidungsfindung/Abstimmung nicht teilgenommen haben: **keine**



Univ. Prof. Dr. Ernst Singer
Vorsitzender der Kommission

ACHTUNG: Unter Berücksichtigung der „ICH-Guideline for Good Clinical Practice“ gilt dieser Beschluß **ein Jahr ab Datum der Ausstellung**. Gegebenenfalls hat der Antragsteller eine Verlängerung der Gültigkeit mittels Formular für „Meldungen“ rechtzeitig vorzulegen.

Votum IBRA Small Grand Applikation [Biomec. Fract. Mod.]



Dr. Sebastian F. Baumbach
Sternwartstrasse 9
81679 München

Germany

Basel, 1.11.2011

Research Grant Application

Dear Dr. Baumbach,

We would like to thank you for your Research Grant Application titled „A Novel Biomechanical Fracture model for dorsally displaced, unstable, distal radius fractures“ and we are pleased to inform you that the Research Committee has decided to fund your project.

The Research Committee is willing to attribute the amount of CHF 5'500 for your project.

Please note that the following terms and conditions apply for our payments (3 x CHF 1833.33):

1st payment:

The first payment will be made in November 2011. You have already started your project in June 2011.

2nd payment:

After receipt of your interim report until **15th January 2012 the latest** and after approval by the chairman, you will receive the second third of the granted sum.

3rd payment:

After receipt of your final report until **30st April 2012**, you will receive the remaining one third of the granted sum after approval by the chairman.



We kindly ask you to inform us if you wish to follow a different time-frame for your interim and final report.

Thank you for sending us your detailed bank account information with all the necessary details (IBAN etc.) to allow us the international money transfer to your account.

We wish you fruitful experiments and appreciate the acknowledgement to IBRA in all related publications.

For any inquiries, please do not hesitate to contact the IBRA Administration Office.

Kind regards,

Prof. Bert Müller
Head of IBRA Research Committee

José Manuel Vázquez
Executive Director IBRA

Votum Ethikkommission Wien [Biomec. Fract. Mod.]

Allgemeine Unfallversicherungsanstalt

Ethikkommission
für die
Krankenanstalten der AUVA

Adalbert Stifter-Straße 65
A-1200 Wien

**VOTUM**

Antrag:	16/2011
Projekttitel:	Biphasische biomechanische Frakturstudie der Colles Fraktur – Frakturmodell und Osteosynthese
Prüfer:	Priv.-Doz. Dr. Patrick Weninger
Krankenanstalt:	Forschungszentrum für Traumatologie der AUVA

Die Ethikkommission hat in ihrer Sitzung am 5.12.2011 zu Antrag 16/2011 einstimmig beschlossen:

„Gegen die Durchführung der Studie bestehen keine Einwände, sofern das Eigentum der Daten beim Forschungszentrum für Traumatologie der AUVA verbleibt, unbeschadet der Publikationshoheit.“

Das Votum der Ethikkommission berührt in keiner Weise die alleinige Verantwortung des Antragstellers für die ordnungsgemäße Durchführung der Studie.

Wien, am 21.12.2011

Der Vorsitzende

Tel +43 (01) 33 111 458 • Fax +43 (01) 33 111 379

Votum Ethikkommission München [Biomec. Fract. Mod.]

LUDWIG-
MAXIMILIANS-
UNIVERSITÄT
MÜNCHEN

ETHIKKOMMISSION BEI DER LMU MÜNCHEN



Ethikkommission - Pettenkoferstr. 8 - 80336 München

Herrn
Dr. S. F. Baumbach
Chirurg. Klinik
Nussbaumstr. 20
80336 München

Vorsitzender:
Prof. Dr. W. Eisenmenger
Telefon+49 (0)89 5160 - 5191
Telefax+49 (0)89 5160 - 5192
Ethikkommission@
med.uni-muenchen.de

www.ethikkommission.med.uni-muenchen.de

Postanschrift:
Pettenkoferstr. 8a
D-80336 München

Hausanschrift:
Pettenkoferstr. 8
D-80336 München
München, 19.01.2012 EM /sc

Titel:	Biphasische biomechanische Frakturstudie der Colles Fraktur - Frakturmodell und Osteosynthese
Antragsteller:	Dr. S. F. Baumbach
Projekt- Nr.	024-12

Sehr geehrter Herr Kollege Baumbach,

die o. g. Studie hat den Mitgliedern der Ethikkommission (EK) der Medizinischen Fakultät unserer Universität zur Prüfung vorgelegen.

Es wurden keine ethisch- rechtlichen Bedenken gegen die Durchführung der Studie erhoben. Die Ethikkommission kann Ihrer Studie die ethisch-rechtliche Unbedenklichkeit zuerkennen.

Vorsorglich möchte ich darauf hinweisen, dass auch bei einer positiven Beurteilung des Vorhabens durch die EK die ärztliche und juristische Verantwortung für die Durchführung des Projektes uneingeschränkt bei Ihnen und Ihren Mitarbeitern verbleibt. Sie werden gebeten, die EK über alle schwerwiegenden oder unerwarteten Ereignisse im Rahmen der Studie zu unterrichten.

Änderungen des Studienprotokolls sind der EK mitzuteilen.

Für Ihre Studie wünsche ich Ihnen viel Erfolg.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr. W. Eisenmenger
Vorsitzender der Ethikkommission

Mitglieder der Kommission:
Prof. Dr. W. Eisenmenger (Vorsitzender), Prof. Dr. E. Held (stellv. Vorsitzender), Prof. Dr. G. Paumgartner (stellv. Vorsitzender), PD Dr. Th. Beinert, Prof. Dr. H. U. Gallwas, Prof. Dr. D. Kunze, Dr. V. Mönch, Prof. Dr. H. H. Müller, Prof. Dr. R. Penning, Prof. Dr. K. Hahn, Prof. Dr. K. Pfeifer, Dr. Ch. Zach